



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



HELTON DE SOUZA SILVA

**BALANÇO DO NITROGÊNIO E SUGESTÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA
PARA O MILHO CULTIVADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Areia, PB

2019

HELTON DE SOUZA SILVA

**BALANÇO DO NITROGÊNIO E SUGESTÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA
PARA O MILHO CULTIVADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba/Centro de Ciências Agrárias, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza - Orientador

Areia, PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586b Silva, Helton de Souza.

BALANÇO DO NITROGÊNIO E SUGESTÃO DE ADUBAÇÃO
NITROGENADA PARA O MILHO CULTIVADO EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO / Helton de Souza Silva. - Areia, 2019.
63 f. : il.

Orientação: Adailson Pereira de Souza.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Zea mays, eficiência da adubação. 2. mineralização
do N do solo, produtividade do milho. I. Souza,
Adailson Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

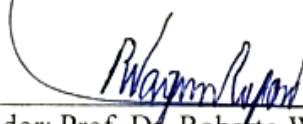
HELTON DE SOUZA SILVA

**BALANÇO DO NITROGÊNIO E SUGESTÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA
PARA O MILHO CULTIVADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba/Centro de Ciências Agrárias, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, julgada e aprovada pela banca examinadora composta por:


Presidente: Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza – Orientador (UFPB)


Examinadora: Prof^a. Dr^a Silvana Maria de Souza Gomes Nascimento (UFPB)


Examinador: Prof. Dr. Roberto Wagner Cavalcanti Raposo (UFPB)

Areia 12 de fevereiro de 2019

Esta dissertação é dedicada aos meus pais, Izeranildo de França Silva e Maria Helena de Souza Silva, que sempre me apoiaram nos momentos mais difíceis e nunca mediram esforços para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu irmão, Natanael, exemplo e incentivador durante toda minha trajetória acadêmica.

Aos meus sobrinhos Théo Antonio e Thomas Antonio, anjos cheios de ternura que alegam o ambiente quando estão presentes.

Aos meus avôs e avós, Antônio Batista, Isaias e Maria Batista (in memorian) e Eunice França, pela lição de vida, honestidade, conselhos e carinho atribuídos a mim.

Amo vocês!!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, sabedoria e pela força que tem me dado para conseguir atingir meus objetivos.

Aos meus pais, Izeranildo de França Silva e Maria Helena de Souza Silva, que sempre fizeram o que podiam para que eu tivesse uma boa educação, exemplos de honestidade e comprometimento.

Ao meu querido irmão Natanael, futuro Doutor em Medicina Veterinária.

Agradeço ao meu orientador e companheiro de trabalho, Adailson Pereira de Souza, pelos ensinamentos e paciência para comigo durante esses anos de convivência.

Em especial à Inácia dos Santos Moreira, pelo companheirismo, carinho e incentivo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, Flávio, Vânia, Alexandre, Raphael, Djail, Luiz Leite, Bruno, Roberto Wagner e Walter, pela contribuição na minha carreira acadêmica.

Aos laboratoristas e colegas de trabalho, Flávio, Rodolpho, André, Valdenia, Wilson, Robeval (Vaval), Luis (Lula), Túlio, Francisco de Assis (Chico Ninha); Normando, Cristina e Claudia, pelas conversas e incentivo.

Aos amigos e colegas de laboratório, Valeria, Mary, Ewerton, Idaline, Léa, Fernando, Caique, Rielder, Michelly e aos demais estudantes que contribuíram na execução do experimento e pelos momentos de descontração e brincadeiras que torna o ambiente mais agradável.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma ao longo desta caminhada, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Resumo	VII
Abstract	VIII
INTRODUÇÃO GERAL	1
LITERATURA CITADA.....	4
PRODUTIVIDADE E BALANÇO DO NITROGÊNIO NO MILHO CULTIVADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	8
Resumo.....	8
Abstract	8
INTRODUÇÃO	10
MATERIAL E MÉTODOS	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONCLUSÕES	22
AGRADECIMENTOS.....	23
LITERATURA CITADA.....	23
SUGESTÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O MILHO CULTIVADO NO BREJO PARAIBANO EM PLANTIO DIRETO.....	27
Resumo.....	27
Abstract	27
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E MÉTODOS	30
Potencial de mineralização do N do solo	33
Nitrogênio disponível.....	35
Requerimento de N pelo milho	35
Eficiência da adubação nitrogenada.....	36

Recomendação de N para o milho.....	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
Potencial de mineralização do N no solo	37
Requerimento de N pelo milho	39
Eficiência da adubação nitrogenada.....	42
Recomendação de adubação para o milho	42
CONCLUSÕES.....	44
AGRADECIMENTOS.....	44
LITERATURA CITADA.....	44
APÊNDICE	49

Resumo

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas, no entanto, apresenta uma dinâmica complexa no sistema solo-planta, ocasionando elevadas perdas e baixa recuperação pelas plantas. Por isso, a fertilização nitrogenada tem que ser realizada de forma cautelosa para minimizar as perdas e maximizar a produtividade. Os objetivos do trabalho foram a) determinar a produtividade do milho submetido à adubação nitrogenada; b) realizar o balanço do nitrogênio no sistema solo-planta e c) realizar a sugestão de adubação nitrogenada com base no requerimento da cultura para atingir um rendimento projetado, na quantidade de nitrogênio que o solo pode suprir às plantas e na expectativa de eficiência de adubação. O experimento consistiu na aplicação de três doses de nitrogênio (30, 70 e 95 kg ha⁻¹) e um controle (sem adubação). Foi aplicado no milho híbrido AG 1051 80 e 56 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente. O experimento foi disposto em delineamento em blocos ao acaso, com cinco repetições. Constatou-se que a produção de massa seca total teve comportamento linear crescente em função das doses de nitrogênio, o mesmo foi observado para a produtividade de grãos, a qual atingiu 5.684,79 kg ha⁻¹. A extração total de nitrogênio e a exportação tiveram comportamento linear crescente de acordo com as doses de nitrogênio, sendo obtido na maior dose de nitrogênio a extração de 114,93 kg ha⁻¹ e a exportação de 79,81 kg ha⁻¹. A recuperação do N-fertilizante pelas plantas foi linear crescente em função das doses de nitrogênio, obtendo 64,88% de recuperação de N-fertilizante para a maior dose. A quantidade de nitrogênio suprida pelo solo às plantas de milho de 52,81 kg ha⁻¹ e resultou num coeficiente de mineralização de 1,2%. As equações utilizadas neste trabalho são eficientes para realizar a recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do milho, considerando que a quantidade de N recomendado (94,33 kg ha⁻¹) utilizando as equações para atingir o máximo rendimento obtido neste trabalho é equivalente a dose aplicada (95 kg ha⁻¹). O índice de colheita (IC) e a eficiência de adubação (EA) são variáveis de acordo com o rendimento

projetado. Já o nitrogênio disponível (ND) e o teor de N na massa seca (TNMS) são constantes.

Palavras chave: *Zea mays*, eficiência da adubação, mineralização do N do solo, produtividade do milho

Abstract

Nitrogen is the nutrient required in higher quantities by the plants, however, it presents a complex dynamic in the soil-plant system, which result in high losses and low recovery by the plants. Therefore, nitrogen fertilization has to be done in a cautious way in order to minimize losses and maximize productivity. The objectives of this study were: a) to determine the yield of corn submitted to nitrogen fertilization; b) perform the nitrogen balance in the soil-plant system and c) perform the nitrogen fertilization recommendation based on the crop requirement to achieve a projected yield, in a quantity of nitrogen that the soil can supply to the plants and at the expectation of fertilization efficiency. The experiment was composed in the application of three doses of nitrogen (30, 70 and 95 kg ha⁻¹) and a control (without fertilization). The doses were applied in the hybrid corn AG 1051 80 along with 56 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O, respectively. The experiment was arranged in a randomized complete block design with five replications. It was observed that the production of total dry matter had a linear behavior increasing as a function of the nitrogen doses, the same was observed for the grain yield, which reached 5,684.79 kg ha⁻¹. The total nitrogen extraction and the export had a linear behavior increasing according to the nitrogen doses, being obtained in the highest nitrogen dose the extraction of 114.93 kg ha⁻¹ and the export of 79.81 kg ha⁻¹. The recovery of N-fertilizer by the plants increased linearly as a function of the nitrogen doses, obtaining 64.88% of N-fertilizer recovery for the highest dose. The amount of nitrogen supplied by the soil to corn plants of 52.81 kg ha⁻¹ resulted in a mineralization coefficient of 1.2%. The equations used in this work are efficient to perform the nitrogen fertilization recommendation

for the corn crop, considering that the amount of recommended N (94.33 kg ha^{-1}) using the equations to reach the maximum yield obtained in this work is equivalent to applied dose (95 kg ha^{-1}). Harvest index (IH) and fertilization efficiency (FE) are variable according to the projected yield. Nitrogen availability (NA) and N content in dry matter (NCDM) are constant.

Keywords: *Zea mays*, fertilization efficiency, mineralization of soil N, corn yield.

INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio é o nutriente mais consumido no mundo, devido à elevada demanda das principais plantas cultiváveis, entre elas: trigo, milho, arroz, cevada, sorgo, milho e cana-de-açúcar, juntas representam mais de 50 % de toda área cultivada no mundo (FAO, 2019).

Outro fator que explica o elevado consumo de N são as perdas que ocorrem por lixiviação, volatilização e imobilização nos diferentes sistemas agrícolas, podendo variar de 16 a 80% do N aplicado ao solo (Cantarella, 2007). Trivelin et al. (2002) e Scivittaro et al. (2003) constataram valores semelhantes de perdas de N para cana-de-açúcar e milho, variando entre 8,72% à 50,00% do N aplicado.

O Brasil é o quarto maior consumidor de N do mundo, perdendo apenas para a China, Índia e EUA. O consumo nacional de fertilizante nitrogenado é estimado em 4,37 milhões de toneladas, sendo 90% desse total de origem externa (FAO, 2019). Dessa quantidade de N consumida no país, estima-se que 1,74 milhões de toneladas é destinado à cultura do milho, considerando em média o suprimento de 100 kg ha^{-1} de N (IBGE, 2019).

A demanda de N pela cultura do milho vai depender do nível tecnológico empregado na lavoura, em condições desfavoráveis com produções modestas a planta de milho absorve em torno de 80 kg ha^{-1} de N, enquanto em condições de elevada produtividade, com uso de irrigação e variedades híbridas, a planta pode absorver mais de 350 kg ha^{-1} de N (Cantarella, 2007; Von Pinho et al., 2009).

Uma parcela considerável desse N absorvido pelo milho é fornecida pelo solo, em trabalho realizado por Gava et al. (2010) testando diferentes doses de N fertilizante (50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1}) pela técnica de diluição isotópica ^{15}N , os autores relataram que entre 85 e 70% do N absorvido pelas plantas foi suprida pelo solo. Em estudo realizado por Lara Cabezas et al. (2000) constatou-se que as plantas de milho absorveram 116,6 e 129,2 kg ha^{-1} de N nativo, para o método de aplicação do N-fertilizante incorporado e em superfície, respectivamente.

O nitrogênio ocorre em várias formas químicas no solo, estas formas são classificadas como orgânicas ou inorgânicas. As formas inorgânicas incluem amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). As formas inorgânicas de N são as formas "disponíveis" que as plantas e os microrganismos podem usar ou que podem se mover no solo à medida que a água se move (Yeasmin et al., 2012). As formas orgânicas de N são encontradas em compostos como aminoácidos, proteínas e em compostos orgânicos mais resistentes, como o húmus. O N-orgânico compreende mais de 98% do N encontrado no solo, sendo a maioria na forma indisponível. O N-orgânico é originado a partir das plantas e outros organismos que depois de mortos incorporam na matéria orgânica do solo (Pulford, 1991; Cantarella, 2007; Yeasmin et al., 2012).

Conhecendo a considerável contribuição do solo para o suprimento de N às plantas, torna-se necessário realizar a quantificação prévia desse nutriente no solo para uma correta recomendação de adubação nitrogenada suplementar. Basicamente são utilizados dois métodos para determinar o suprimento de N pelo solo, os de caráter químico e os biológicos.

Os métodos químicos têm como objetivo fornecer um índice de disponibilidade de N do solo para as culturas agrícolas. Esse método consiste na utilização de extratores para as formas inorgânicas de N (NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-) do solo (Keeney & Nelson, 1982). Apesar de alguns trabalhos apresentarem correlação do teor de N do solo com a produção ou o teor de N na planta, os métodos químicos têm seu emprego restrito em regiões ou períodos de elevada pluviosidade por causa da mobilidade do nitrato no solo. As concentrações do N inorgânico podem alterar rapidamente com as chuvas, comprometendo a utilidade do método (Cantarella, 2007).

A utilização dos métodos biológicos fornece uma predição da disponibilidade de N às plantas em um determinado tempo. Em experimentos de incubação é determinado o potencial de mineralização do nitrogênio do solo, definido como a fração presente no nitrogênio

orgânico suscetível à mineralização. Diferentes modelos matemáticos são utilizados para estimar o potencial de mineralização do N no solo, de acordo com a natureza dos compartimentos da matéria orgânica do solo (Stanford & Smith, 1972; Alves et al., 1999).

No entanto, dada à complexidade do ciclo do nitrogênio e o grande número de fatores integrantes que o controlam, significa que, os modelos adotados para descrever o potencial de mineralização do N do solo em experimentos de incubação não abordam de perto a realidade (De Willigen, 1991), tendo em vista que esses modelos consideram apenas a mineralização e imobilização do N. Esse problema pode ser suplantado com a utilização de experimentos de campo, integrando os fatores de crescimento da cultura com a dinâmica do N em determinado sistema solo-cultura-clima (Keeney, 1982).

Em experimento realizado por Amado & Mielniczuk (2000), foi determinado o potencial de mineralização do N do solo (N_0) com base na seguinte equação $K_1 = N_a/N_t$, sendo o K_1 = o coeficiente de mineralização; N_a = quantidade de N absorvida pela parte aérea da cultura sem adubação; N_t = quantidade total de N acumulada no solo sem adubação. Portanto, para se obter o potencial de mineralização do N do solo se aplica a seguinte expressão $N_0 = K_1 * N_t$. Os mesmos autores enfatizam que o N mineralizado do solo durante a estação de crescimento do milho é integralmente absorvida pela cultura, considerando o potencial de suprimento de N pelo solo insuficiente para o completo suprimento da cultura na ausência de adubação mineral, favorecendo a obtenção de elevado índice de eficiência.

Em sistemas de cultivo conservacionistas, como o plantio direto, devido ao mínimo revolvimento de solo, há pouca aeração e baixa superfície de contato entre o solo e o material orgânico depositado, o que contribui para uma baixa atividade microbiana e consequentemente menor mineralização do N do solo, quando comparado com o sistema convencional. Em cultivo de milho essa baixa mineralização do N do solo é negativa nos

períodos iniciais de implantação do sistema de plantio direto, por requerer em torno de 20% a mais de N-mineral para o suprimento das plantas (Phillips & Young, 1973; Sá, 1996).

Após essa fase inicial de menor disponibilidade de N às plantas, inicia-se o restabelecimento do equilíbrio, à medida que o aporte de resíduos proporcionarem acúmulo de N-orgânico e, uma vez tendo atingido esse novo equilíbrio de formação e de decomposição da matéria orgânica, a demanda por N entre o cultivo em sistema de plantio direto e o convencional tornam-se equivalentes ou menores para o sistema de plantio direto (Acosta, 2009).

Portanto, em sistemas de recomendação de adubação nitrogenada que visem quantificar o potencial de mineralização do N do solo, é necessário considerar o sistema de cultivo utilizado, tendo em vista que o coeficiente de mineralização no sistema de plantio direto é menor que no sistema convencional, 0,011 e 0,021, respectivamente (Amado & Mielniczuk, 2000).

LITERATURA CITADA

Acosta, J. A. A. Dinâmica do nitrogênio sob sistema de plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho. 2009, p. 200. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2009.

Alves, G. D.; Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H.; Silva, V. M. Potencial de mineralização de N e C em vinte solos de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 245-256, 1999.

Amado, T. J. C.; J. Mielniczuk. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p. 553-560, 2000.

Cantarella, H. NITROGÊNIO. In: Novaes, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cataruti, R. B.; Neves, J. C. L. Fertilidade de Solo. SBCS, Viçosa, 2007. P. 375-470.

De Willigen, P. Nitrogen turnover in the soil-crop system; comparison of fourteen models. *Fertilizer Research*, v. 27, p. 141-149, 1991.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT. 2019. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#home> > Acesso em: 19 de Fevereiro de 2019.

Gava, G. J. C.; Oliveira, M. W.; Silva, M. A.; Jerônimo, E. M.; Cruz, J. C. S.; Trivelin, P. C. O. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de ¹⁵N-uréia. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4, p. 851-862, 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola Municipal. 2019. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> > Acesso em: 19 de Fevereiro de 2019.

Keeney, D. R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J., ed. *Nitrogen in agricultural soils*. Madison, Soil Science Society of America, 1982. p. 605-649.

Keeney, D. R.; Nelson, D. W. Nitrogen-inorganic forms. In.: PAGE, A. L. et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 1982. p. 643-698

Lara Cabezas, W. A. R.; Trivelin, P. C. O.; Kondörfer, G. H.; Pereira, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.

Phillips, S. H.; Young Junior, H. M. *No tillage farming*. Milwaukee, Reiman Associates, 1973. 224 p.

Pulford, I. D. Nutrient provision and cycling in soils in urban areas. In.: Bullock, P.; Gregory, P. J. (Eds.). *Soils in the urban environment*. Blackwell Scientific Publications, Cambridge, MA, 1991. P. 119-138.

Sá, J. C. M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte, 23 p., 1996.

Scivittaro, W. B.; Muraoka, T.; Boaretto, A. E.; Trivelin, P. C. O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1427-1433, 2003.

Stanford, G.; Smith, S. J. Nitrogen mineralization potential of soils. Soil Science Society of America Journal, v. 36, p. 465-472, 1972.

Trivelin, P. C. O.; Oliveira, M. W.; Vitti, A. C.; Gava, G. J. C.; Bendassolli, J. A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 2, p. 193-201, 2002.

Von Pinho, R. G.; Borges, I. D.; Pereira, J. L. A. R.; Reis, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.8, n.2, p. 157-173, 2009.

Yeasmin, S.; Mominul Islam, A. K. M.; Aminul Islam, A. K. M. Nitrogen fractionation and its mineralization in paddy soils: a review. Journal of Agricultural Technology, v. 8, n. 3, p. 775-793, 2012.

A presente dissertação é composta de dois capítulos escritos na forma de artigo nas normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, os mesmo já foram submetidos e se encontram no prelo.

PRODUTIVIDADE E BALANÇO DO NITROGÊNIO NO MILHO CULTIVADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Resumo

A cultura do milho é altamente responsiva à adubação nitrogenada, no entanto a aplicação de doses elevadas, geralmente, provoca redução do aproveitamento do fertilizante. O objetivo do presente trabalho foi determinar produtividade e o balanço do nitrogênio no milho cultivado em sistema de plantio direto. O experimento consistiu na aplicação de três doses de nitrogênio (30; 70 e 95 kg ha⁻¹) e um controle (sem adubação). Foi aplicado no milho híbrido AG 1051 80 kg ha⁻¹ e 56 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente. O experimento foi disposto em delineamento em blocos ao acaso, com cinco repetições. Constatou-se que a produção de massa seca total teve comportamento linear crescente em função das doses de nitrogênio, o mesmo foi observado para a produtividade de grãos, a qual atingiu a produtividade de 5.684,79 kg ha⁻¹. A extração total de nitrogênio e a exportação tiveram comportamento linear crescente de acordo com as doses de nitrogênio, sendo obtido na maior dose de nitrogênio a extração de 114,93 kg ha⁻¹ e a exportação de 79,81 kg ha⁻¹. A recuperação do N-fertilizante pelas plantas foi linear crescente em função das doses de nitrogênio, obtendo 64,88% de recuperação de N-fertilizante para a maior dose. A quantidade de nitrogênio suprida pelo solo às plantas de milho de 52,81 kg ha⁻¹ resultou num coeficiente de mineralização de 0,012.

Palavras-chave: *Zea mays*, eficiência de adubação, adubação nitrogenada, nitrogênio no solo

Abstract

The corn crop is highly responsive to nitrogen fertilization, however, the application of high doses usually causes reduction in fertilization efficiency. The objective of this work was to determine yield and nitrogen balance in corn grown under no-tillage system. The experiment was composed in the application of three doses of nitrogen (30, 70 and 95 kg ha⁻¹) and a control (without fertilization). The doses were applied in the hybrid corn AG 1051 80 along

with 56 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O, respectively. The experiment was arranged in a randomized complete block design with five replications. It was observed that the production of total dry matter had a linear behavior increasing as a function of the nitrogen doses, the same was observed for the grain yield, which reached 5,684.79 kg ha⁻¹. The total nitrogen extraction and the export had a linear behavior increasing according to the nitrogen doses, being obtained in the highest nitrogen dose the extraction of 114.93 kg ha⁻¹ and the export of 79.81 kg ha⁻¹. The recovery of N-fertilizer by the plants increased linearly as a function of the nitrogen doses, obtaining 64.88% of N-fertilizer recovery for the highest dose. The amount of nitrogen supplied by the soil to corn plants of 52.81 kg ha⁻¹ resulted in a mineralization coefficient of 0.012.

Keywords: *Zea mays*, fertilization efficiency, nitrogen fertilization, soil nitrogen

INTRODUÇÃO

O consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil foi de 4,36 milhões de t no ano de 2016, ocupando a quarta posição entre os maiores consumidores do mundo, desse montante, 90% é de origem externa, o que encarece o custo de produção (FAO, 2019). Esse elevado consumo de N na agricultura é explicado pela exigência em fertilização mineral das gramíneas e pela baixa recuperação dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas, geralmente, variando de 35 à 65% (Morris et al., 2018; Oliveira et al., 2018).

Vários fatores podem influenciar na recuperação de N-fertilizante, como quantidade de N aplicado, parcelamento e época de adubação. Fernandes & Libardi (2007) constataram que houve aumento na recuperação do N-fertilizante com o incremento das doses aplicadas até 180 kg ha⁻¹ de N. Entretanto, se a necessidade da cultura em adubação nitrogenada for excedida e, ou houver parcelamento da adubação em épocas inadequadas, a percentagem de recuperação de N-fertilizante decresce com o aumento das doses aplicadas (Halvorson et al., 2004; Fernandes et al., 2005).

Uma proporção considerável do N absorvido pelo milho é fornecido pelo solo, Gava et al., (2010) reportaram que o solo pode fornecer até 80% do N exigido pelas plantas de milho para atingir a produtividade máxima. O sistema de cultivo é um dos fatores determinantes para o suprimento de N do solo às plantas de milho, no sistema de plantio direto a taxa de mineralização do N-orgânico é mais lenta do que no plantio convencional, entretanto após o plantio direto atingir o equilíbrio, a quantidade de N suprida às plantas é equivalente ao plantio convencional devido ao maior estoque de N no solo (Amado & Mielniczuk, 2000).

Considerando os gargalos apresentados objetivou-se com o presente trabalho determinar a produtividade e o balanço do nitrogênio no milho cultivado em sistema de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda experimental Chã-do-Jardim, pertencente à Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias (UFPB/CCA), localizado no município de Areia – PB, nas seguintes coordenadas, latitude - 6,97° e longitude - 35,73°. O clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro, a precipitação média anual é de 1.358,4 mm (AESAs, 2018).

Este trabalho fez parte de um experimento de longa duração com milho cultivado em sistema de plantio direto. Durante cinco anos os tratamentos com adubação consistiram de cinco doses de N na forma de ureia (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) e cinco doses de potássio (K₂O) na forma de KCl (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹) com um tratamento adicional (Controle), sendo dispostos em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial conforme a matriz Plan Puebla III (Alvarez V, 1985), com cinco repetições. No quinto ano de cultivo a combinação entre três doses de N (30; 70 e 95 kg ha⁻¹) e uma dose de K₂O (56 kg ha⁻¹) mais o tratamento adicional foram utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

A adubação fosfatada foi a mesma dose para todos os tratamentos (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de Superfosfato Simples) sendo aplicada toda em fundação juntamente com a adubação potássica e 30% da dose de N. O restante da dose do N foi adicionada em cobertura à lanço próximo a linha de plantio, 45 dias após a semeadura do milho.

O milho híbrido AG 1051 foi semeado no espaçamento de 1,00 x 0,20 m perfazendo um “stand” de 50.000 mil plantas por hectare. Cada unidade experimental foi composta por sete linhas de plantio com dez metros de comprimento, sendo considerado como área útil 40 m² da parte central de cada parcela.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (SIBCS, 2014) de textura argila arenosa na camada de 0-20 cm. As frações de areia, silte e argila foram

558, 30 e 412 g kg⁻¹, respectivamente, determinada pelo método do decímetro (EMBRAPA, 1997).

O plantio do milho foi realizado na palhada, 30 dias após a aplicação do glifosato nas plantas infestantes, para isso foram abertos sulcos com 10 cm de profundidade, onde foi feita a adubação de fundação e posteriormente semeado o milho, tendo-se o cuidado de cobrir o adubo com terra, evitando danos por desidratação osmótica. Aos 40 dias após o plantio foi realizado o controle mecânico das plantas infestantes, ao término foi realizada a adubação de cobertura.

Durante o ciclo do milho (12/04/2017 até 31/07/2017) foi realizado o balanço hídrico normal decendial, sendo constatado que no momento da semeadura do milho (12/04/2017) havia déficit hídrico, sendo suprido após três dias, no entanto, esse déficit não comprometeu o estabelecimento do “stand” de plantas. O balanço hídrico ainda revelou que ao longo do ciclo da cultura houve boa distribuição das chuvas, com déficit hídrico de apenas 4,45 mm no segundo decêndio de maio (período vegetativo das plantas de milho) (Figura 1).

Para realizar o balanço hídrico utilizou-se a planilha BHnorm.xls desenvolvida por Rolim et al. (1998) a qual considera a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm para o milho e aplica o método de Thornothwaite & Mather (1955). A precipitação acumulada durante o ciclo do milho foi de 842,9 mm.

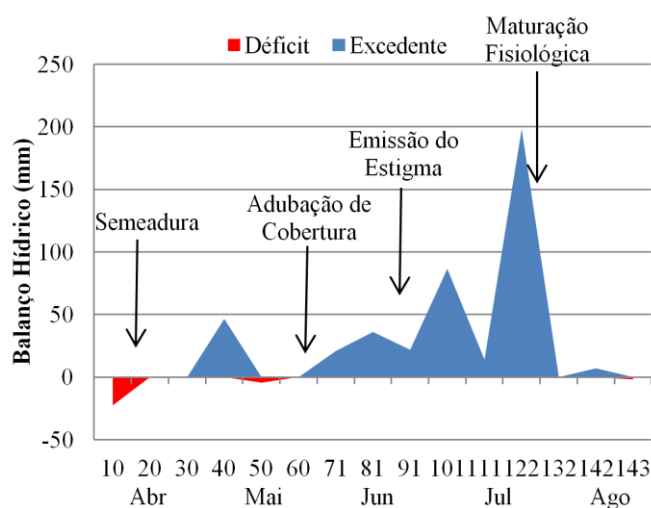


Figura 1. Balanço hídrico normal decendial durante o ciclo do milho no ano de 2017

A fertilidade do solo foi realizada na terra fina seca ao ar (TFSA), para isso foi feita a amostragem na camada de 0-20 cm do solo com trado holandês, sendo coletadas três amostras simples para perfazer uma composta, após secas ao ar as amostras foram passadas em peneira de 20 cm de diâmetro com malha de 2 mm. As análises laboratoriais foram realizadas de acordo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

A fertilidade do solo após os cinco anos de cultivo com milho não foi depreciada (Tabelas 1). Indicando que o sistema de plantio conservacionista utilizado neste trabalho promove a manutenção do teor dos nutrientes e da matéria orgânica do solo.

Tabela 1. Fertilidade do solo antes da instalação do experimento e após cinco anos de cultivo

Tratamentos	pH H ₂ O _(1:2,5)	P -- mg dm ⁻³ --	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	C	MO
				-----		cmol _c dm ⁻³	-----		--- g kg ⁻¹ ---	
Antes da instalação do experimento										
-	5,65	3,66	17,96	0,06	1,40	1,20	0,55	8,74	16,50	28,45
Cinco anos após a instalação do experimento										
0	5,28	8,13	30,68	0,08	1,66	1,41	0,34	8,10	17,92	30,90
30	5,32	9,11	35,54	0,05	1,78	1,39	0,32	8,38	19,10	32,93

70	5,10	5,24	35,31	0,06	1,32	1,15	0,51	9,73	19,72	34,00
95	5,20	10,54	39,95	0,07	1,70	1,37	0,35	9,01	18,98	32,72
P, K, Na: Extrator Mehlich 1					H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 M, pH 7,0					
Al, Ca, Mg: Extrator KCl 1 M					M.O.: Matéria Orgânica – Walkley-Black					

A amostragem das plantas de milho foi realizada após a maturação fisiológica (110 dias após a semeadura), para isso foi coletado três plantas de milho em cada unidade experimental de forma aleatória na área útil, após a coleta foi realizado o fracionamento (folhas, colmo, pendão, palha, sabugo e grão).

Após a amostragem e fracionamento, as plantas foram acomodadas em estufa de circulação de ar forçada à 65 ± 5 °C durante 48 h. Posteriormente foi determinada a massa seca de cada parte em balança digital de precisão. A massa seca de cada parte da planta de milho foi extrapolada para kg ha^{-1} , considerando o “stand” de 45.000 plantas por ha.

O índice de colheita (IC) foi determinado pela razão entre a massa seca de grão (MG) e a produção de massa seca total (MST) (Stanford, 1973) (Equação 1).

Eq (1).

$$IC = \frac{MG}{MST}$$

A determinação do teor de N foi realizada em cada parte constituinte da planta (folhas, colmos, pendão, palha, sabugo e grão), para isso, utilizou-se as amostras que foram aferidas a massa seca, as mesmas foram moídas e posteriormente realizada a digestão por via úmida, com peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico, o extrato obtido passou por destilação conforme o método de Kjeldahl, descrito por Tedesco et al. (1995).

A quantidade de N extraída (NE) em kg ha^{-1} por cada parte constituinte da planta de milho foi obtida pelo produto do teor de N de cada fração (TN) em g kg^{-1} e a sua massa seca (MS) em kg ha^{-1} (Equação 2).

Eq (2).

$$NE = \frac{TN \cdot MS}{1000}$$

A recuperação do nitrogênio da adubação foi obtida pela divisão entre a diferença da quantidade de N absorvida pelas plantas com adubação (NA) e sem adubação (NSA) e a quantidade total de N aplicada (NAP) (Amado & Mielniczuk, 2000) (Equação 3).

Eq (3).

$$EA = \frac{NA - NSA}{NAP}$$

Para realizar a determinação do estoque de N do solo inicialmente realizou-se a amostragem da amostra indeformada nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, na entre linha das plantas de milho, com auxílio de um trado de Uhland, para posteriormente se obter a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Posteriormente, foi determinado o teor total de N do solo na terra fina seca ao ar (TFSA), as amostras foram obtidas a partir da coleta de três amostras simples de cada unidade experimental, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, na entre linha das plantas de milho, com auxílio de um trado Holandês. Após a coleta, as amostras foram postas para secar ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 2 mm. A TFSA foi digerida por via úmida com peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico, havendo a adição de permanganato de potássio e ferro reduzido para evitar perdas do N nítrico. O extrato obtido foi destilado em álcali conforme método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

Com os resultados da densidade do solo (DS) em kg dm⁻³ e do teor de N total do solo (TNS) em g kg⁻¹ de cada seção de profundidade, obtêm-se o estoque de N do solo pela seguinte expressão:

Eq (4).

$$EN = \frac{DS \cdot TNS}{1000}$$

Os resultados foram submetidos à análise de variância e posteriormente realizou-se a análise de regressão, os modelos polinomiais foram escolhidos de acordo com a significância dos coeficientes pelo teste de t ($p < 0,05$), com coeficiente de determinação (R^2) maior que 60%. A análise estatística foi realizada com o auxílio do software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

À medida que se elevou a dose de N houve um incremento na massa seca das diferentes partes da planta de milho, com exceção para o pendão (Figura 2A). Esse resultado refletiu diretamente na massa seca total do milho, a qual teve aumento linear com as doses de N, obtendo a produção máxima de $10.875,43 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 2B). Resultados semelhantes foram encontrados por vários autores (Silva et al., 2013; Araújo et al., 2016; Almeida et al., 2017), cujos os trabalhos evidenciaram produção de massa seca total de até $20.000 \text{ kg ha}^{-1}$ com doses de N superior a 100 kg ha^{-1} .

Com relação a produtividade de grãos houve aumento linear com o acréscimo da dose de N, sendo constatada a produtividade máxima de $5.684,79 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 2B). Essa produtividade está próxima a produtividade média brasileira no ano de 2017, a qual foi de 5.618 kg ha^{-1} , e superior a produtividade média da Região Nordeste e do Estado da Paraíba, 2.662 e 355 kg ha^{-1} , respectivamente (IBGE, 2019). Vários trabalhos têm exposto que a resposta do milho a adubação nitrogenada é influenciada pelo sistema de cultivo, clima, variedade e nível tecnológico empregado.

Em trabalho realizado por Santos et al. (2013) em Rio Paranaíba – MG testando doses de N ($40, 100, 160, 220, 280$ e 340 kg ha^{-1}) em diferentes sistemas de cultivo, foi constatado que a máxima produtividade ($14.552 \text{ kg ha}^{-1}$) foi atingida com a dose de 316 kg ha^{-1} de N no sistema de plantio direto, para o sistema de cultivo convencional houve incremento linear da

produtividade a medida que se elevou a dose de N, atingindo a produtividade máxima de 16.758 kg ha⁻¹ de grãos.

Em experimento realizado em Rio Largo – AL com o objetivo de avaliar a resposta de cinco cultivares de milho (AG-9010, TRACTOR, DOW-8550, DKB-395 e AL-34) à doses de N (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) os autores reportaram que o comportamento da cultivar AL-34 apresentou efeito quadrático, enquanto as demais este efeito foi linear, obtendo a produtividade máxima de 5.662 kg ha⁻¹ (Cruz et al., 2008).

O N na planta é constituinte de moléculas de compostos orgânicos, como aminoácidos e proteínas, e atua com ativador de enzimas do metabolismo primário, como síntese de proteínas, absorção de íons, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação. Portanto, é o elemento que mais afeta direta ou indiretamente o rendimento. Assim, para se obter elevado rendimento do milho com segurança ambiental e econômica, a dose recomendada de N deve considerar as condições edafoclimáticas, sistema de cultivo, época de semeadura, responsividade do material genético, rotação de culturas, tempo e modo de aplicação, fontes de N e economia operacional (Okumura et al., 2011).

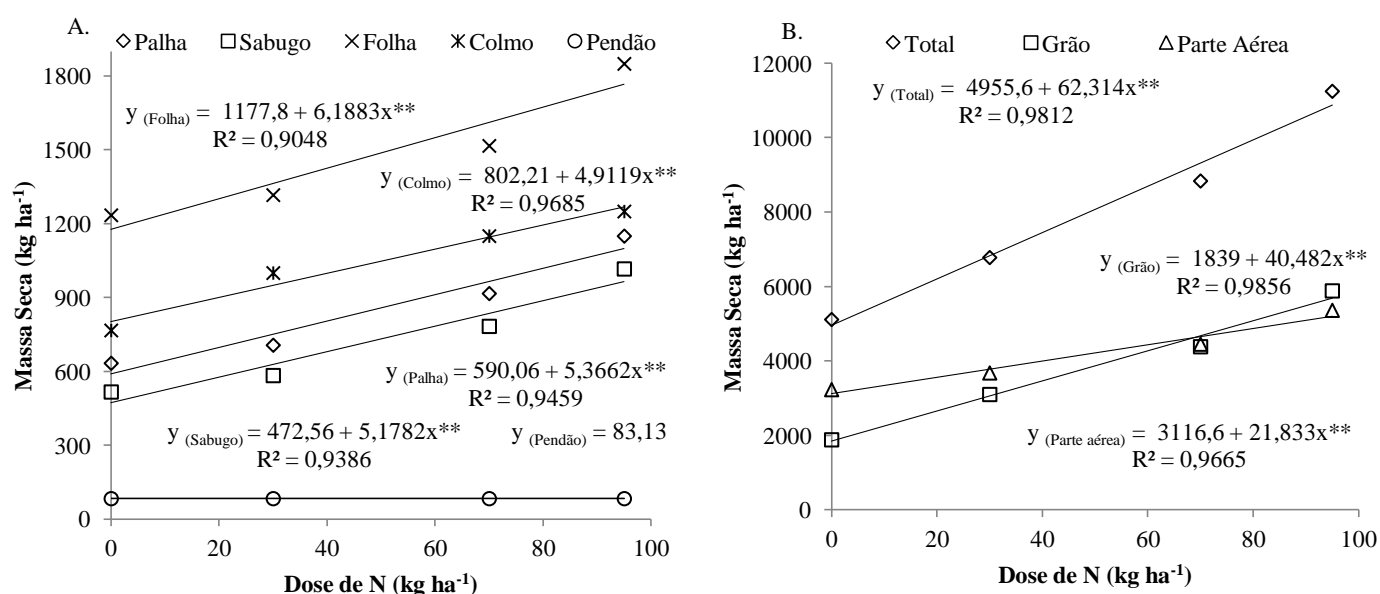


Figura 2. Massa seca do milho (Palha, Sabugo, Folha, Colmo e Pendão) (A); (Total, Grão e Parte Aérea (Sem grão)) (B) submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

O índice de colheita teve comportamento linear com o aumento das doses de N, variando de 0,38 à 0,53 para as doses de 0 à 95 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 3). Os resultados reportados por Amado & Mielniczuk (2000) corroboram com os resultados desse trabalho, os autores relataram que sob baixa disponibilidade de N, o índice de colheita foi inferior a 0,5, sugerindo que, nesta condição, a produção de grãos foi mais afetada do que a produção de matéria seca. Por outro lado, sob condições de alta disponibilidade de N, verificou-se uma relação superior a 0,6.

De acordo com Stanford (1973) o índice de colheita é uma importante ferramenta para estimar com segurança a produção de massa seca total a partir da produção de grãos, o mesmo autor ainda relata que o índice de colheita para uma máxima produtividade econômica é de 0,50, com um erro padrão de 4%.

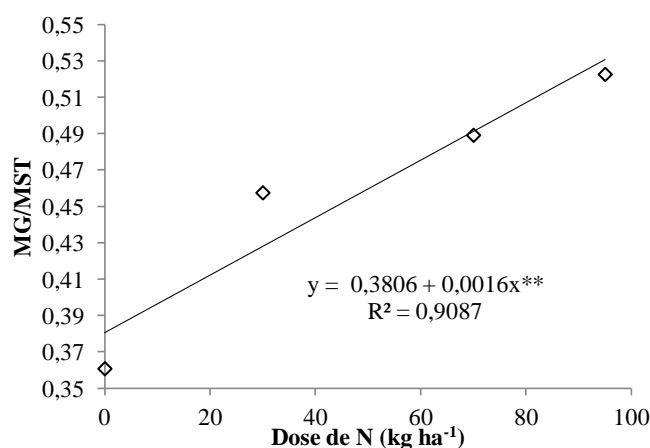


Figura 3. Relação massa de grão/massa seca total (MG/MST) do milho submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

Apenas os teores de N do grão e do colmo tiveram comportamento quadrático com as doses crescentes de N, os valores variaram de 13,61 à 16,21 g kg⁻¹ e de 2,44 a 5,02 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 4). O teor de N da palha, sabugo, folha e pendão não diferiram com o

incremento das doses de N, os valores médios de cada parte foram, respectivamente, 4,19, 7,58, 11,52 e 10,64 g kg⁻¹ (Figura 4).

Já Veloso et al. (2009) reportaram que o teor de N da parte aérea do milho (colmos, bainhas, folhas, brácteas e pendões) aumentou linearmente com as doses de N, de 0 a 200 kg ha⁻¹, sendo que o teor médio de N da matéria seca da parte aérea variou de 4,6 g kg⁻¹ a 7,7 g kg⁻¹. Veloso et al. (2009), Silva et al. (2011) e Caires & Milla (2016) reportaram aumento linear do teor de N dos grãos de milho em função das doses de N, com os valores variando de 13,1 à 16,7 g kg⁻¹, 15,64 à 19,17 g kg⁻¹ e 11,23 à 16,02 g kg⁻¹, respectivamente, corroborando com os valores encontrados neste trabalho.

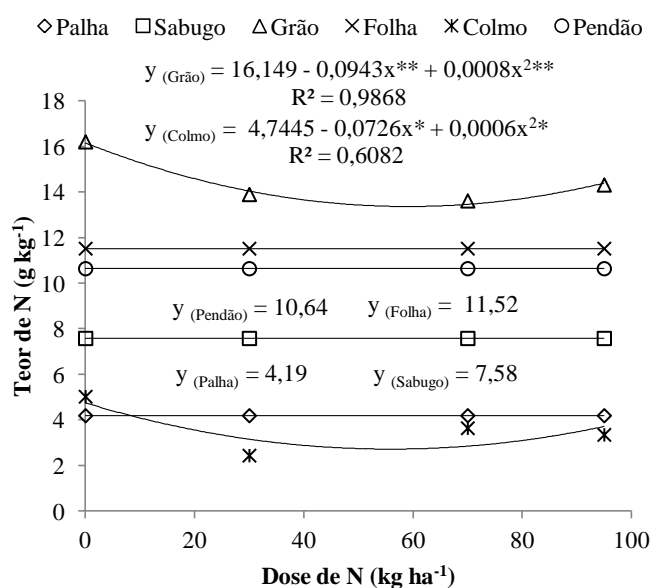


Figura 4. Teor de N nas partes constituintes do milho (Palha, Sabugo, Folha, Colmo e Pendão) submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

A extração de N pela palha da espiga, sabugo, colmo e pendão não diferiu com as doses de N, os valores médios foram 3,47, 5,13, 3,59 e 0,88 kg ha⁻¹, respectivamente. Já a extração pelas folhas, grãos, parte aérea (sem grão) e total teve comportamento linear crescente em função das doses de N, com valores variando de 13,35 à 20,48 kg ha⁻¹, 28,04 à 79,81 kg ha⁻¹, 24,77 à 35,12 kg ha⁻¹ e de 52,81 à 114,93 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 5A e B).

Resultado semelhante foi reportado por Almeida et al. (2017), os quais constataram que houve aumento linear crescente em função das doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) tanto na extração total de N bem como na extração de N pelos grãos. Os autores ainda destacaram que a extração de N pelo milho é dependente direto da produção de biomassa, assim, sendo reflexo do rendimento.

Os grãos são os maiores drenos de N da planta de milho, geralmente, são os únicos responsáveis pela exportação do N do sistema solo-planta, tendo em vista que no sistema de plantio direto o N absorvido pela parte aérea da planta de milho (sem grão) retorna ao solo em forma de N orgânico. A quantidade de N exportada pelo grão de milho foi de 28,04, 44,39, 66,19 e 79,81 kg ha⁻¹ para as doses 0, 30, 70 e 95 kg ha⁻¹, respectivamente. Estes resultados corroboram com Gava et al. (2010), esses autores reportaram que em milho cultivado em sistema de plantio direto, em torno de 70% do N absorvido pelas plantas de milho são exportados pelos grãos.

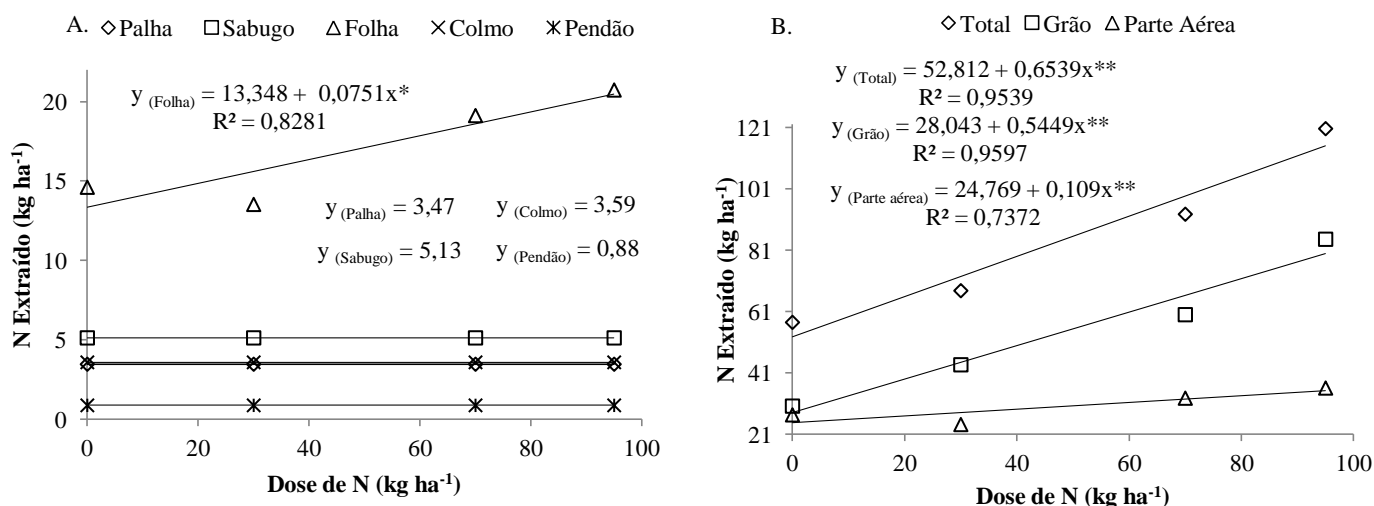


Figura 5. Conteúdo de N extraído pelo milho (Palha, Sabugo, Folha, Colmo e Pendão) (A); (Total, Grão e Parte Aérea (Sem grão)) (B) submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

A eficiência da adubação teve comportamento linear crescente à medida que se elevou a dose de N, atingindo 64,88 % de recuperação de N-fertilizante na dose de 95 kg ha⁻¹ (Figura

6). Esse resultado se deve ao aumento da massa de raiz do milho à medida que se elevou as doses de N (Silva et al., 2018) favorecendo que as raízes ocupem maior volume de solo, assim reduzindo as perdas de N.

Fernandes & Libardi (2007) também constataram que houve aumento na eficiência de adubação a medida que se elevou a dose de N. Já Halvorson et al. (2004) e Fernandes et al. (2005) reportaram resultados opostos, havendo decréscimo na eficiência de adubação nitrogenada com o aumento das doses de N.

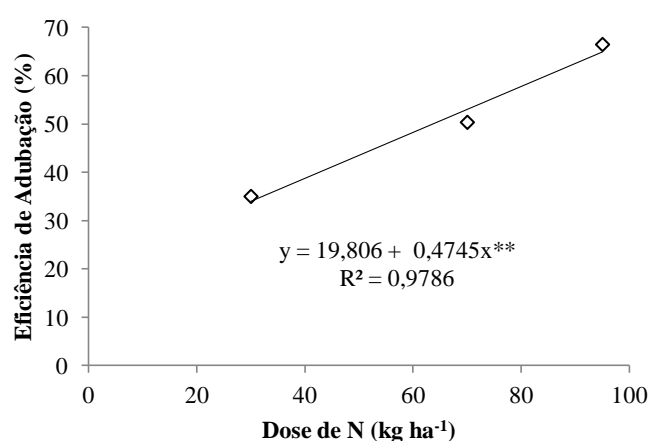


Figura 6. Eficiência de adubação em milho submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg ha⁻¹),

** e * significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente

Não houve diferença do estoque de N do solo entre as doses de N, sendo registrado na camada de 0-10 cm o estoque de 2135,6 kg ha⁻¹ e para a camada de 10-20 cm o estoque de N foi de 2353,4 kg ha⁻¹ (Figura 7). De posse dos valores de estoque de nitrogênio do solo na camada de 0-20 cm e da quantidade de N extraída pelo milho na parcela sem adubação, podemos determinar o coeficiente de mineralização de N (K1), como proposto por Amado & Mielniczuk (2000).

O $K1 = 52,81 \div 4.489 = 0,012$, corrobora com o valor de K1 (0,011) reportado por Amado & Mielniczuk (2000) em Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com milho em sistema de plantio direto. Apesar do N mineralizado no solo ser raramente suficiente para atender à necessidade da cultura do milho, para um manejo da adubação sustentável, deve-se considerar

a quantidade de N disponibilizado pelo solo, a fim de permitir ajustes na quantidade de N a ser complementada com outras fontes (Amado & Mielniczuk, 2000).

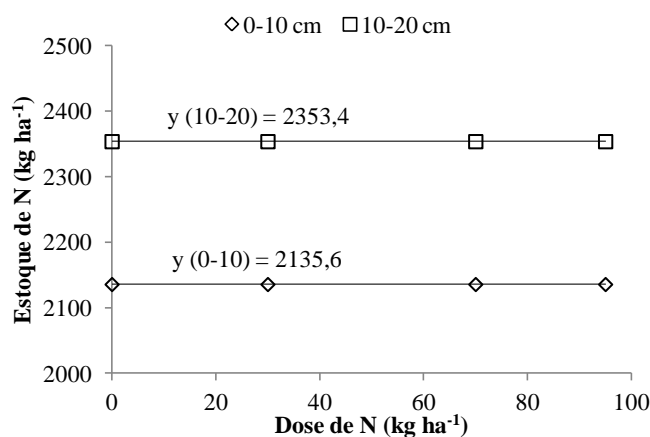


Figura 7. Estoque de N do solo cultivado com milho submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

O manejo adequado da adubação nitrogenada deve suprir a demanda da planta, maximizar a percentagem de recuperação do nitrogênio e minimizar o impacto no ambiente pela redução de perdas (Fernades & Libardi, 2007). Nesse projeto constatou-se que o incremento das doses de N proporcionou aumento na absorção de N pelas plantas de milho culminando em acréscimo da produtividade, havendo maior aproveitamento do N fertilizante e redução das perdas de N. Esse resultado indica que as maiores doses de N utilizadas nesse trabalho não excedeu a necessidade da cultura, como relatado em outros trabalhos realizados por Halvorson et al. (2004) e Fernandes et al. (2005).

CONCLUSÕES

As doses de nitrogênio de 0, 30, 70 e 95 kg ha⁻¹ proporciona um aumento linear da massa seca total até o máximo de 10.875,43 kg ha⁻¹.

A produtividade máxima do milho de 5.684,79 kg ha⁻¹ foi obtida com a dose de 95 kg ha⁻¹ de N.

O índice de colheita variou linearmente de 0,38 à 0,53 de acordo com as doses de 0 à 95 kg ha⁻¹ de N.

A extração total de N pelas plantas de milho e a quantidade de N exportada pelos grãos de milho responde linearmente a adubação nitrogenada até valores de 95 kg ha⁻¹.

A recuperação do N fertilizante pelas plantas de milho é de 25,69, 51,93 e 68,33% para as doses de nitrogênio de 30, 70 e 95 kg ha⁻¹, respectivamente.

O estoque de nitrogênio no solo é de 2135,6 kg ha⁻¹ e 2353,4 kg ha⁻¹ para as camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente.

A quantidade de nitrogênio suprida pelo solo às plantas de milho de 52,81 kg ha⁻¹ resultou num coeficiente de mineralização do nitrogênio de 0,012 para o sistema de plantio direto.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Ciências Agrárias pela disponibilização da área experimental, aonde foi instalado o experimento de campo;

A Inácia dos Santos Moreira pelo auxílio na execução do experimento em campo e nas análises laboratoriais.

LITERATURA CITADA

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. Climatologia. 2018. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/> > Acesso em: 12 de março de 2018.

Alvarez V., V. H. Avaliação da fertilidade do solo (Superfície de resposta - Modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Viçosa: UFV, 1985. 75p.

Almeida, R. E. M.; Favarin, J. L.; Otto, R.; Pierozan Junior, C.; Oliveira, S. M.; Tezotto, T.; Lago, B. C. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. Australian Journal of Crop Science, v. 11, n. 3, p. 352-359, 2017.

Amado, T. J. C.; Mielniczuk, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 24, p. 553-560, 2000.

Araújo, E. O.; Vitorino, A. C. T.; Mercante, F. M. Doses de nitrogênio e inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho em condições de solo fértil. *Acta Agronômica*, v. 65, n. 1, p. 16-23, 2016.

Caires, E. F.; Milla, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. *Bragantia*, v. 75, n. 1, p. 87-95, 2016.

Cruz, S. C. S.; Pereira, F. R. S.; Santos, J. R.; Albuquerque, A. W.; Pereira, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

Fernandes, F. C. S.; Buzetti, S.; Arf, O.; Andrade, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

Fernandes, F. C. S.; Libardi, P. L. Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 6, n. 3, p. 285-296, 2007.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT. 2019. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN> > Acesso em: 29 de Janeiro de 2019.

Gava, G. J. C.; Oliveira, M. W.; Silva, M. A.; Jerônimo, E. M.; Cruz, J. C. S.; Trivelin, P. C. O. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de ¹⁵N-uréia. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4, p. 851-862, 2010.

Halvorson, A. D.; Nielsen, D. C.; Reule, C. A. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agronomy Journal*, v. 96, n. 4, p. 1196-1201, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola Municipal. 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612> > Acesso em: 03 de Janeiro de 2019.

Morris, T. F.; Murrell, T. S.; Beegle, D. B.; Camberato, J. J.; Ferguson, R. B.; Grove, J.; Ketterings, Q.; Kyveryga, P. M.; Laboski, C. A. M.; McGrath, J. M.; Meisinger, J. J.; Melkonian, J.; Moebius-Clune, B. N.; Nafziger, E. D.; Osmond, D.; Sawyer, J. E.; Scharf, P. C.; Smith, W.; Spargo, J. T.; van Es, H. M.; Yang, H. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 1, p. 1-37, 2018.

Okumura, R. S.; Mariano, D. C.; Zaccheo, P. V. C. Use of nitrogen fertilizer in corn: a review. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, v. 4, n. 2, p. 226-244, 2011.

Oliveira, S. M.; Almeida, R. E. M.; Ciampitti, I. A.; Pierozan Junior, C.; Lago, B. C.; Trivelin, P. C. O.; Favarin, J. L. Understanding N timing in corn yield and fertilizer N recovery: An insight from an isotopic labeled-N determination. *Plos One*, v. 13, n. 2, p. 1-14, 2018.

Rolim, G. S., Sentelhas, P. C.; Barbieri, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

Santos, L. P. D.; Aquino, L. A.; Nunes, P. H. M. P.; Xavier, F. O. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.12, n.3, p. 270-279, 2013.

Silva, D. R. G., Pereira, A. F., Dourado, R. L., Silva, F. P., Ávila, F. W.; Faquin, V. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in corn under different levels of urea and NBPTtreated urea. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 3, p. 516-523, 2011.

Silva, F. C.; Silva, M. M.; Libadi, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 6, p. 3513-3528, 2013.

Silva, H. S.; Carvalho, M. A. B.; Souza, A. P.; Barbosa, E. S.; Pereira Neto, J. M.; Vieira, C. P. Distribuição espacial das raízes do milho submetido a adubação mineral em sistema de plantio direto. In.: Zuffo, A. M.; Aguilera, J. G. *Solos nos biomas brasileiros 2*. 1ed. Ponta Grossa: Atena, 2018, cap. 3, v. 2, p. 17-27.

Stanford, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. *Journal of Environmental Quality*, v. 2, n. 2, p. 159-166, 1973.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). 4. ed. Brasília: Embrapa, 2014. 393p.

Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

Veloso, M. E. C.; Duarte, S. N.; Dourado Neto, D.; Silva, E. C.; Pereira, C. R. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 8, n. 1, p. 13-25, 2009.

SUGESTÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA O MILHO CULTIVADO NO BREJO PARAIBANO EM PLANTIO DIRETO

Resumo

A quantidade de nitrogênio (N) a ser fornecida ao milho deve atender a demanda da cultura com o mínimo de perdas, evitando impactos ambientais. Portanto, objetivou-se com esse trabalho realizar a recomendação de adubação nitrogenada para o milho cultivado no brejo paraibano em plantio direto, utilizando o método de recomendação que considera a disponibilidade de N do solo; a necessidade de N para a cultura alcançar o rendimento projetado e a eficiência de recuperação do N fertilizante. O experimento consistiu de três doses de N (30, 70 e 95 kg ha⁻¹) mais o controle, dispostos em blocos ao acaso, com cinco repetições. A variedade de milho utilizada foi a AG 1051, semeada com espaçamento de 1,00 x 0,20 m. As equações utilizadas neste trabalho são eficientes para realizar a recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do milho, considerando que a quantidade de N recomendado (94,33 kg ha⁻¹) utilizando as equações para atingir o máximo rendimento obtido neste trabalho é equivalente a dose aplicada (95 kg ha⁻¹). O coeficiente de mineralização do N para solos cultivados em sistema de plantio direto é 1,2%. A maior eficiência da adubação nitrogenada foi alcançada na dose de 95 kg ha⁻¹ de N. O índice de colheita (IC) e a eficiência de adubação (EA) são variáveis de acordo com o rendimento projetado. Já o nitrogênio disponível (ND) e o teor de N na massa seca (TNMS) são constantes.

Palavras-chave: eficiência de adubação, estoque de N, fertilidade do solo, *Zea mays*

Abstract

The amount of nitrogen (N) to be supplied to corn must meet the crop demand with minimum losses, avoiding environmental impacts. Therefore, the objective of this work was to carry out the recommendation of nitrogen fertilization for corn cultivated in the brejo paraibano in no-tillage, using the recommendation method that considers N availability of soil; the need for N

for the crop to achieve the projected yield and recovery efficiency of N fertilizer. The experiment was composed in the application of three doses of nitrogen (30, 70 and 95 kg ha⁻¹) and a control (without fertilization). The doses were applied in the hybrid corn AG 1051 80 along with 56 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O, respectively. The experiment was arranged in a randomized complete block design with five replications. The equations used in this work are efficient to perform the nitrogen fertilization recommendation for the corn crop, considering that the amount of recommended N (94.33 kg ha⁻¹) using the equations to reach the maximum yield obtained in this work is equivalent to applied dose (95 kg ha⁻¹). The N mineralization coefficient for soils grown under no-tillage system is 1.2%. The highest efficiency of nitrogen fertilization was reached at the dose of 95 kg ha⁻¹ of N. Harvest index (HI) and fertilization efficiency (FE) are variable according to the projected yield. Nitrogen availability (NA) and N content in dry matter (NCDM) are constant.

Keywords: fertilization efficiency, N stock, soil fertility, *Zea mays*

INTRODUÇÃO

O milho é um das culturas mais plantadas no mundo, sendo utilizada na alimentação animal, humana e para produção de biocombustível. No ano de 2017 foi à segunda cultura mais plantada no Brasil (17,71 milhões de ha) perdendo apenas para a soja. Atualmente o milho é cultivado em todos os estados da federação, com produtividade variando de 302 à 8.284 kg ha⁻¹, para os Estados do Rio Grande do Norte e Santa Catarina, respectivamente. O Estado da Paraíba obteve na ultima safra uma das menores produtividades do país (355 kg ha⁻¹), sendo superior apenas ao rendimento do Rio Grande do Norte (IBGE, 2019).

Essa discrepância do rendimento do milho entre os estados da federação é influenciada por diversos fatores, dentre os principais destacam-se estresse hídrico, adubação mineral equilibrada e nível tecnológico com implementação de irrigação, correção do solo, sistema de

manejo conservacionista do solo e inserção de variedades modernas responsivas a adubação nitrogenada (Cruz et al., 2008; Von Pinho et al., 2009; Santos et al., 2013).

A demanda de adubação nitrogenada pelo milho vai depender da produtividade, a qual é determinada pelo nível tecnológico empregado na lavoura, em condições desfavoráveis com produções modestas a planta de milho absorve em torno de 80 kg ha^{-1} de N, enquanto em condições de elevada produtividade, com uso de irrigação e variedades híbridas, a planta pode absorver mais de 350 kg ha^{-1} de N (Von Pinho et al., 2009; França et al., 2011).

Outro aspecto que se considera sobre o fornecimento de nitrogênio ao milho é a eficiência de recuperação do N-mineral pelas plantas, que geralmente, é baixa, variando de 30 até 80%, sendo influenciada pela dose aplicada, época de aplicação, parcelamento do fertilizante e principalmente pela ocorrência de chuvas após a adubação (Halvorson et al., 2004; Silva et al., 2006; Oliveira et al., 2018; Morris et al. 2018).

Para realizar uma recomendação de adubação precisa, além do conhecimento da demanda de N pelo milho e da eficiência de recuperação de N-mineral pelas plantas é necessário realizar a estimativa do potencial de mineralização do N do solo o qual pode ser determinado em experimentos de campo, integrando os fatores de crescimento da cultura com a dinâmica do N em determinado sistema solo-cultura-clima (Keeney, 1982).

Amado & Mielniczuk (2000) determinaram o potencial de mineralização do N do solo utilizando experimento de campo, inicialmente obtiveram o coeficiente de mineralização (K1) com base na relação existente entre a quantidade de N absorvido pela cultura com a quantidade de N acumulado do solo. Os mesmos afirmaram que o valor de K1 é variável de acordo com o sistema de cultivo adotado, 0,021 e 0,011 para os sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente. Portanto, o potencial de mineralização do N é obtido pelo produto do K1 com a quantidade de N acumulada no solo.

Tendo em vista que a recomendação de adubação nitrogenada para o milho precisa satisfazer a necessidade da cultura com o mínimo de excedente, reduzindo os riscos ao ambiente. Objetivou-se com esse trabalho realizar a recomendação de adubação nitrogenada para o milho cultivado no brejo paraibano em plantio direto, utilizando o método de recomendação que considera a disponibilidade de N do solo; a necessidade de N para a cultura alcançar o rendimento projetado e a eficiência de recuperação do N fertilizante.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda experimental Chã-do-Jardim, pertencente à Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias (UFPB/CCA), localizado na latitude -6,97° e longitude -35,73°, no município de Areia - PB. O clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro, a precipitação média anual é de 1.358,4 mm (AESAs, 2018).

Esse trabalho fez parte de um experimento de longa duração com milho cultivado em sistema de plantio direto. Durante cinco anos os tratamentos com adubação consistiram de cinco doses de N (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) na forma de ureia e cinco doses de potássio (K₂O) (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹) na forma de KCl com um tratamento adicional (Controle). O experimento foi disposto em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial conforme a matriz Plan Puebla III (Alvarez V, 1985), com cinco repetições. No quinto ano de cultivo a combinação entre três doses de N (30; 70 e 95 kg ha⁻¹) e uma dose de K₂O (56 kg ha⁻¹) mais o tratamento adicional (Controle) foram utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. A adubação potássica (56 kg ha⁻¹) e a fosfatada (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de Superfosfato Simples) foi a mesma para todos os tratamentos sendo aplicada toda em fundação juntamente com 30% da dose de N. O restante da dose do N foi adicionada em cobertura a lanço próximo a linha de plantio, 45 dias após a semeadura do milho.

A variedade AG 1051 foi semeada no espaçamento de 1,00 x 0,20 m perfazendo um “stand” de 50.000 mil plantas por hectare. Cada unidade experimental foi composta por sete linhas de plantio com dez metros de comprimento, sendo considerado como área útil 40 m² da parte central de cada parcela. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (SIBCS, 2014) de textura argila arenosa na camada de 0-20 cm. As frações granulométricas areia, silte e argila foram 558, 30 e 412 g kg⁻¹, respectivamente, sendo determinadas pelo método do decímetro (EMBRAPA, 1997).

O plantio do milho foi realizado na palhada, 30 dias após a aplicação do glifosato nas plantas infestantes, para isso foram abertos sulcos com 10 cm de profundidade, onde foi feita a adubação de fundação e posteriormente semeado o milho, tendo-se o cuidado de cobrir o adubo com terra, evitando danos por desidratação osmótica. Aos 40 dias após a semeadura foi realizado o controle mecânico das plantas infestantes, ao término aplicou-se o fertilizante em cobertura.

Durante o ciclo do milho (12/04/2017 até 31/07/2017) foi realizado o balanço hídrico normal decendial, sendo constatado que no momento da semeadura do milho (12/04/2017) havia déficit hídrico, sendo suprido após três dias, no entanto, esse déficit não comprometeu o estabelecimento do “stand” de plantas. O balanço hídrico ainda revelou que ao longo do ciclo da cultura houve boa distribuição das chuvas, com déficit hídrico de apenas de 4,45 mm no segundo decêndio de maio (período vegetativo das plantas de milho) (Figura 8). Para realizar o balanço hídrico utilizou-se a planilha BHnorm.xls, considerando 100 mm como a capacidade de água disponível (CAD) (Rolim et al., 1998) empregando-se o método de Thornthwaite & Mather (1955). A precipitação acumulada durante o ciclo do milho foi de 842,9 mm, superior ao recomendado para obtenção da produção máxima do milho (Doorenbos & Kassam 1994).

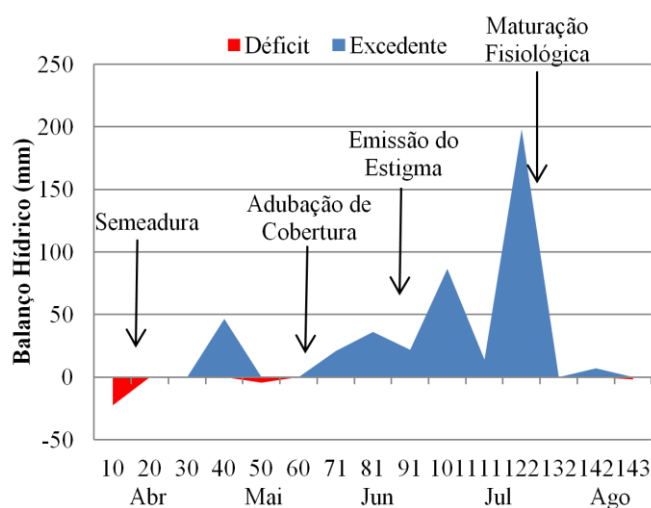


Figura 8. Balanço hídrico normal decendial durante o ciclo do milho no ano de 2017

Em cada parcela da área experimental foi realizada a amostragem do solo na camada de 0-20 cm com trado holandês, sendo coletadas três amostras simples para perfazer uma composta para realizar a análise de fertilidade, conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

A análise da fertilidade do solo revelou que o sistema de cultivo conservacionista utilizado no experimento foi eficiente na manutenção da qualidade química do solo, após os cinco anos de cultivo (Tabela 2).

Tabela 2. Fertilidade do solo antes da instalação do experimento e após cinco anos de cultivo

Tratamentos	Ph	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	C	MO
	H ₂ O _(1:2,5)	--- mg dm ⁻³ ---	---	-----		cmol _c dm ⁻³	-----		--- g kg ⁻¹ ---	
Antes da instalação do experimento										
-	5,65	3,66	17,96	0,06	1,40	1,20	0,55	8,74	16,50	28,45
Cinco anos após a instalação do experimento										
0	5,28	8,13	30,68	0,08	1,66	1,41	0,34	8,10	17,92	30,90
30	5,32	9,11	35,54	0,05	1,78	1,39	0,32	8,38	19,10	32,93
70	5,10	5,24	35,31	0,06	1,32	1,15	0,51	9,73	19,72	34,00
95	5,20	10,54	39,95	0,07	1,70	1,37	0,35	9,01	18,98	32,72

P, K, Na: Extrator Mehlich 1

H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 M, pH 7,0

Potencial de mineralização do N do solo

Para determinar o potencial de mineralização do N do solo é necessário conhecer o estoque de N e a quantidade de N extraída na parcela sem adubação. Inicialmente, realizou-se a amostragem do solo para analisar o teor de N, sendo coletadas três amostras simples por parcela, entre as linhas de plantio do milho com auxílio de um trado holandês. E a densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico, coletadas com um trado de Uhland (EMBRAPA, 1997). Tanto o teor de N como a densidade, foram determinadas nas seções de profundidade de 0-10 e 10-20 cm.

O método utilizado para analisar o teor de N do solo foi o de Kjeldahl, o qual consistiu na mineralização do N por via umidade com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio, havendo a adição de permanganato de potássio e ferro reduzido para evitar perdas do N nítrico. O extrato obtido após a mineralização foi destilado em álcali e o destilado titulado com solução diluída de H_2SO_4 (Tedesco, 1995).

Assim, para se obter o estoque de N do solo foi utilizada a seguinte expressão:

Eq (1).

$$EN = \frac{DS \cdot TNS}{1000}$$

Em que:

EN - Estoque de N ($kg\ ha^{-1}$);

DS - Densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$);

TNS - Teor de N no solo ($g\ kg^{-1}$).

O N extraído pelas plantas de milho foi quantificado a partir da amostragem de três plantas por unidade experimental, 110 dias após a semeadura, na área útil. Após a amostragem foi realizado o fracionamento (folhas, colmo, pendão, palha, sabugo e grão). As plantas foram acomodadas em estufa de circulação de ar forçada à $65 \pm 5\ ^\circ C$ durante 48 h. Posteriormente foi

determinada a massa seca de cada parte em balança digital de precisão. Sendo o valor extrapolado para kg ha^{-1} considerando um “stand” de 45.000 plantas por hectare.

Após aferida a massa seca, determinou-se o teor de N total em cada fração da planta, conforme metodologia proposto por Tedesco (1995). O teor de N na massa seca total (TNMS) do milho foi obtido pela seguinte expressão:

Eq (2).

$$\text{TNMS} = \sum \left(\frac{\text{MSi}}{\text{MST}} \right) \cdot \text{TNi}$$

Em que:

TNMS - Teor de N na massa seca total (g kg^{-1});

MSi - Massa seca da parte constituinte da planta (i = folha, colmo, pendão, palha, sabugo e grão) (kg ha^{-1});

TNi - Teor de N da parte constituinte da planta (i = folha, colmo, pendão, palha, sabugo e grão) (g kg^{-1});

MST – Massa seca total (kg ha^{-1}).

De posse da produção de massa seca total (MST) da planta e do teor de N na massa seca total (TNMS), determinou-se a quantidade de N extraída (NE) pelas plantas de milho, de acordo com a equação 3.

Eq (3).

$$\text{NE} = \left(\frac{\text{TNMS} \cdot \text{MST}}{1000} \right)$$

Em que:

NE - N extraído (kg ha^{-1});

TNMS - Teor de N na massa seca total (g kg^{-1});

MST - Massa seca total (kg ha^{-1}).

Com os valores da extração de N (NE) e o do estoque de N (EN) do tratamento sem adubação, obtive o coeficiente de mineralização do N do solo (K1) (Amado & Mielniczuk 2000).

Eq (4).

$$K1 = \frac{NE}{EN}$$

Em que:

K1 - Coeficiente de mineralização do N;

NE - Extração de N da parcela sem adubação (kg ha⁻¹);

EN - Estoque de N na parcela sem adubação de 0-20 cm (kg ha⁻¹).

Nitrogênio disponível

Neste trabalho considerou-se apenas a estimativa do potencial de mineralização do N do solo, pois após o plantio do milho a área experimental permanecia em pousio, considerando o seu efeito nulo para a mineralização ou imobilização do N de acordo com Amado & Mielniczuk (2000), portanto, a equação de disponibilidade de N do solo, considera apenas a mineralização do N, a saber:

Eq (5).

$$ND = EN \cdot K1$$

ND - Nitrogênio disponível (kg ha⁻¹);

EM - Estoque de N do solo na camada de 0-20 cm (kg ha⁻¹);

K1 - Coeficiente de mineralização.

Requerimento de N pelo milho

O requerimento de N pela cultura do milho foi estabelecido pelo teor de N na massa seca total do milho (TNMS) e pelo rendimento projetado (RP), considerando o índice de colheita (IC) para atingir a máxima produtividade de grãos. O Índice de colheita foi determinado pela

razão entre a produção de grão (MG) e a produção de massa seca total (MST) (Stanford 1973).

Eq (6).

$$IC = \frac{MG}{MST}$$

O requerimento de N para a cultura do milho foi estimado pela seguinte equação (AMADO & Mielniczuk, 2000):

Eq (7).

$$RN = TNMS \cdot \left(\frac{RP}{IC} \right)$$

Em que:

RN - Requerimento de N (kg ha^{-1});

TNMS - Teor de N na massa seca (kg kg^{-1});

RE - Rendimento projetado (kg ha^{-1});

IC - Índice de colheita.

Eficiência da adubação nitrogenada

A recuperação do nitrogênio da adubação foi obtida pela divisão da diferença entre a quantidade de N absorvida pelas plantas com adubação (NA) e sem adubação (NSA) e a quantidade total de N aplicada (NAP) (Amado & Mielniczuk, 2000):

Eq (8).

$$EA = \frac{(NA-NSA)}{NAP}$$

Recomendação de N para o milho

A partir das equações 5, 7 e 8 obteve-se a equação 9, usada para calcular a recomendação de N para a cultura do milho (Amado & Mielniczuk, 2000).

Eq (9).

$$NF = \frac{(RN-ND)}{EA}$$

Em que:

NF - Necessidade de fertilizante (kg ha⁻¹);

RN - Requerimento de N (kg ha⁻¹);

ND - Nitrogênio disponível (kg ha⁻¹);

EA - Eficiência de adubação.

Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância e regressão, sendo escolhidos os modelos polinomiais significativos pelo teste de t (p<0,05) com o melhor ajuste (R²), a análise estatística foi realizada utilizando software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011). Para realizar a recomendação de adubação nitrogenada utilizou-se as equações descritas no trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial de mineralização do N no solo

A quantidade de N estocado no solo está intimamente relacionada com o montante de fertilizante a ser aplicado, considerando que em solos com maior estoque de N há maior absorção de N proveniente do solo pelas plantas (Weber & Mielniczuk, 2009). Logo, a quantidade de fertilizante a ser aplicada seria complementar a fornecida pelo solo. Neste trabalho não houve diferença do estoque de N do solo entre as doses de N, sendo registrado na camada de 0-10 cm o estoque de 2.135,6 kg ha⁻¹ e para a camada de 10-20 cm o estoque de N foi de 2.353,4 kg ha⁻¹ (Figura 9). O estoque total médio de N no solo considerando a camada de 0-20 foi de 4.489 kg ha⁻¹.

Mesmo que o solo tenha elevada quantidade N, dificilmente supre completamente as exigências das culturas, tendo em vista que o processo de mineralização que converte o N orgânico em N mineral (NH₄⁻ e NO₃⁺) ocorre lentamente durante o ano (Schimel & Bennett, 2004). Vários fatores são determinantes na taxa de mineração do N do solo, dentre estes

podemos destacar a natureza das frações orgânicas do solo, o teor de N e C, relação C/N e sistema de manejo do solo e culturas (Alves et al., 1999; Marques et al., 2000; Amado & Mielniczuk, 2000).

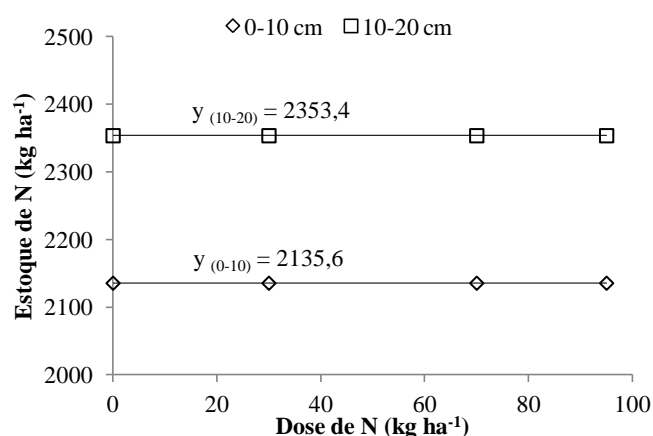


Figura 9. Estoque de N do solo cultivado com milho submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg.ha⁻¹), ** e * Significativo 1 a 5% de probabilidade, respectivamente

O método utilizado nesse trabalho para determinar a mineralização do N no solo integra os fatores de crescimento da cultura com a dinâmica do N no sistema solo-planta-clima, assim considera os diferentes elementos que interferem na taxa de mineralização do N (Keeney, 1982). A quantidade de N mineralizada pelo solo durante o ciclo do milho foi de 52,81 kg ha⁻¹, esse valor corresponde a quantidade de N extraída pelo milho na parcela sem adubação (Figura 10). A aplicação de doses crescente de N promoveu um aumento linear na extração de N pelas plantas de milho, atingindo 114,93 kg ha⁻¹ (Figura 3).

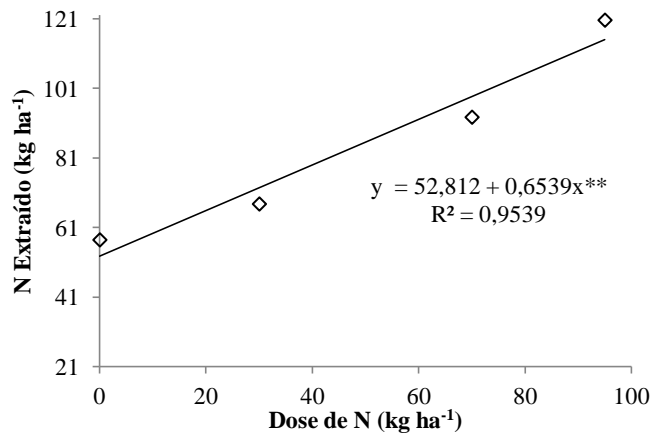


Figura 10. Extração de N pelo milho submetido a doses de N (0, 30, 70, 95 kg ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

O coeficiente de mineralização do N do solo (K1) obtido nesse trabalho foi de 1,2%, esse resultado corrobora com o valor obtido por Amado & mielniczuk (2000), o qual foi de 1,1% para o mesmo sistema de cultivo utilizado neste trabalho. A proporção de N mineralizado em relação ao total acumulado no solo encontrada neste trabalho considera o ciclo da cultura do milho (110 dias). Em trabalhos de incubação do solo constatou-se que os solos brasileiros apresentam de 0,68 à 13,9% de mineralização do N em relação ao N total do contido no solo (Parentoni et al., 1988; Camargo et al., 1997; Alves et al., 1999).

Requerimento de N pelo milho

O requerimento de N pela cultura do milho é depende da produtividade projetada e do teor de N da massa seca. Em condições modestas com baixo potencial produtivo o milho absorve em torno de 80 kg N ha⁻¹, entretanto em condições que possibilite alcançar elevadas produtividades o milho pode absorver até 401 kg ha⁻¹ de N (Von Pinho et al., 2009; França et al., 2011). Foi constatado nesse trabalho que na máxima produção de massa seca (10.875,43 kg ha⁻¹) e de grão (5.684,79 kg ha⁻¹) (Figura 11) foi extraído 115,71 kg ha⁻¹ de N, considerando o teor de N da massa seca do milho igual a 10,64 g kg⁻¹ (Figura 12).

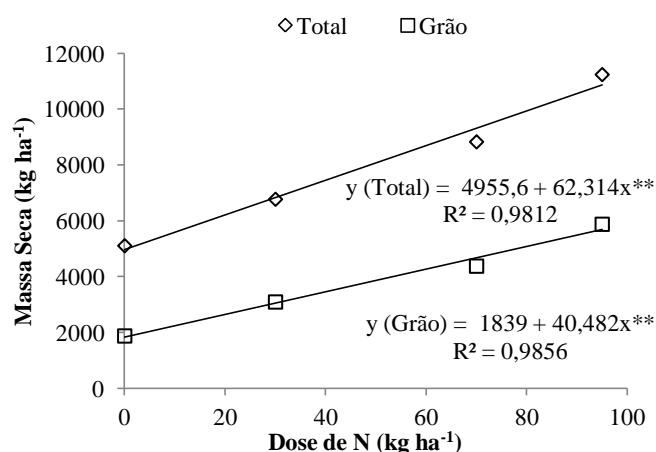


Figura 11. Massa seca de milho submetido a doses de N (0, 30, 70 e 95 kg ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

Vários trabalhos tem demonstrado que existe uma concentração ótima de N na massa seca do milho para a máxima produtividade física e, ou econômica. Stanford (1973) fez um compilado de informações em vários experimentos nos EUA, e encontrou que o rendimento máximo do milho está associado a concentração de 1,2% de N na matéria seca do milho. Amado & Mielniczuk (2000) analisando os aspectos econômicos e ambientais, considerou como 0,9% a concentração crítica de N para atingir o máximo rendimento. Neste trabalho a concentração de N na massa seca do milho foi de 1,064%, não havendo diferença entre os tratamentos de adubação (Figura 12).

Mesmo havendo maior extração de N, promovida pela maior disponibilidade desse nutriente nas maiores doses, não houve correlação entre a concentração de N da massa seca e a produção de massa seca relativa do milho, como revelado por Stanford (1973) e Amado & Mielniczuk (2000). O que pode ter havido é o efeito de diluição do nutriente (Janssen et al. 1990), causado pela maior produção de massa seca, assim, proporcionando teor de N semelhante para os diferentes níveis de produtividade.

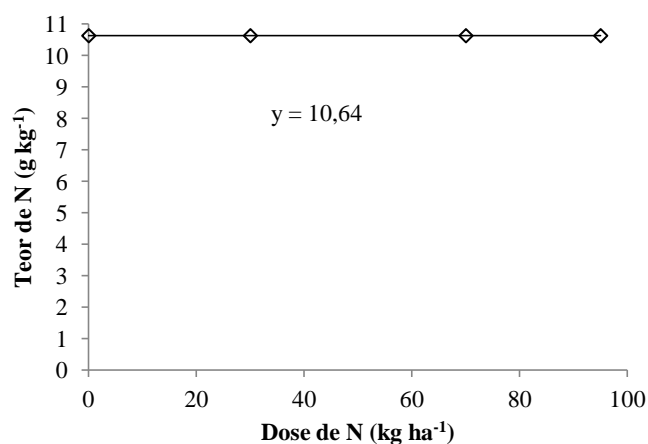


Figura 12. Teor de N na massa seca total do milho submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg.ha⁻¹), ** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

O índice de colheita (IC) pode ser utilizado com confiabilidade para estimar a produção de massa seca a partir da produção de grãos. Em milho, normalmente, considera-se 0,5 como índice de colheita (Stanford, 1973; Morris et al., 2018). No entanto esse valor pode variar de 0,1 à 0,72, dependendo da cultivar, disponibilidade de nutrientes e das condições edafoclimáticas (Amado & Mielniczuk, 2000; Dourado Neto & Fancelli, 2000). No presente estudo, foi observado que o índice de colheita teve comportamento linear crescente em função das doses de N, variando de 0,38 à 0,53 (Figura 13). Valores concordantes foram reportados por Gava et al. (2010) e Andrade et al. (2014).

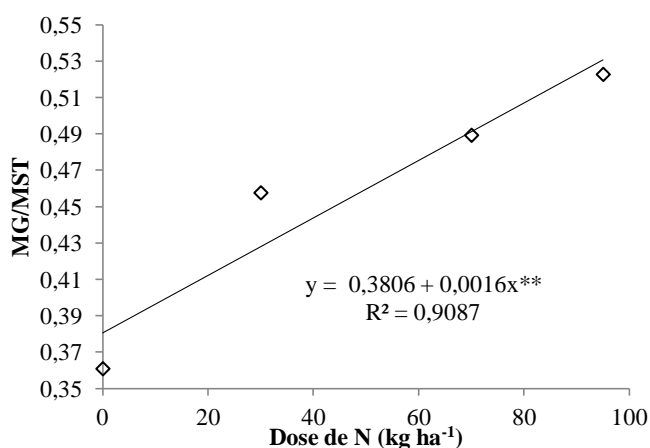


Figura 13. Relação massa de grão/massa seca total (MG/MST) do milho submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg.ha⁻¹), ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

Eficiência da adubação nitrogenada

A estimativa da eficiência de adubação (EA) é uma medida aproximada da recuperação dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas, dado a elevada complexidade dos processos e a quantidade de fatores que o controlam. A EA pode variar dependendo da fonte do fertilizante, método e época de aplicação, ainda é influenciada por fatores ambientais e edafoclimáticos específicos do local, o principal limitante para a variabilidade na EA é a ocorrência de chuva após a aplicação do N (Morris et al., 2018).

Em trabalhos relacionados por Morris et al. (2018) foi relatado que em condições de clima temperado utiliza-se EA de 37 à 65%, dependendo da região. Neste trabalho a eficiência de adubação variou de 34 à 65% para as doses de 30 à 95 kg ha⁻¹ (Figura 14). A maior eficiência de adubação nas maiores doses de N se deve ao aumento da massa de raiz do milho a medida que se elevou as doses de N (Silva et al., 2018) favorecendo que as raízes ocupem maior volume de solo, proporcionando maior eficiência da adubação nitrogenada.

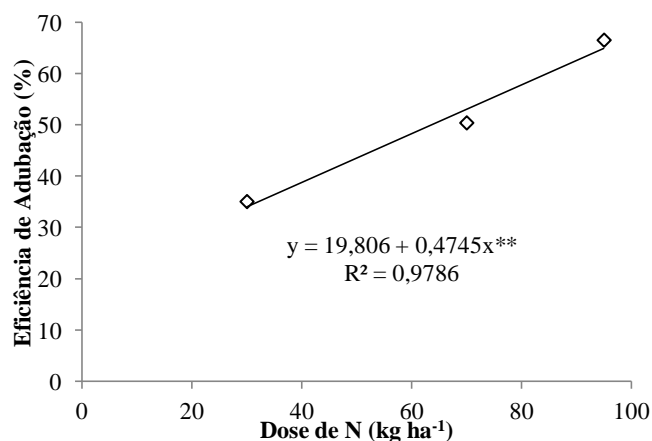


Figura 14. Eficiência de adubação em milho submetido a doses de N (0; 30; 70 e 95 kg ha⁻¹),

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

Recomendação de adubação para o milho

O conjunto de equações propostas por Amado e Mielniczuk (2000), com inserção de alterações, se mostraram adequadas para realizar a recomendação de adubação. A quantidade de fertilizante recomendada (94,33 kg ha⁻¹), a partir das equações, para atingir a máxima

produtividade obtida neste trabalho foi próxima a quantidade de N aplicada (95 kg ha⁻¹) (Tabela 3).

Ainda foi possível realizar a recomendação de N para diferentes níveis de produtividade do milho, considerando a variação dos coeficientes. O IC e a EA são variáveis de acordo com nível de rendimento projetado, entretanto o ND e TNMS permanecem constantes (Tabela 2). O método de recomendação utilizado neste experimente inclui a quantidade de N disponível no solo; o requerimento de N pela cultura para atingir um rendimento projetado; e a expectativa da eficiência na recuperação do N-mineral.

Os métodos de recomendações empíricos consideram apenas a necessidade da cultura e a eficiência de adubação, ignorando a disponibilidade de N pelo solo. Portanto, o método de recomendação proposto neste trabalho se mostra mais adequado por considerar o suprimento de N pelo solo as plantas.

Tabela 3. Recomendação de adubação para o milho cultivado em sistema de plantio direto no brejo paraibano

	Rendimento Projetado			
	----- t ha ⁻¹ -----			
	3,0	4,5	6,0	Max. Experimento
ND (kg ha ⁻¹)	52,81	52,81	52,81	52,81
I.C.	0,43	0,49	0,53	0,53
TNMS (kg kg ⁻¹)	0,01064	0,01064	0,01064	0,01064
EF	0,33	0,51	0,65	0,65
NF (kg ha⁻¹)	64,91	88,05	104,07	94,33

Legenda: Máximo rendimento do experimento - Max. Experimento; Nitrogênio disponível - ND; Índice de colheita - I.C.; Teor de nitrogênio da massa seca - TNMS; Eficiência do fertilizante - EF; Necessidade de fertilizante - NF.

CONCLUSÕES

A quantidade de N recomendada ($94,33 \text{ kg ha}^{-1}$) utilizando as equações para atingir o máximo rendimento obtido neste trabalho é equivalente a dose aplicada (95 kg ha^{-1});

O coeficiente de mineralização do N do solo para o sistema de plantio direto é 1,2%;

O índice de colheita (IC) e a eficiência de adubação (EA) são variáveis de acordo com o rendimento projetado;

A maior eficiência da adubação nitrogenada foi alcançada na dose de 95 kg ha^{-1} de N;

O nitrogênio disponível (ND) e o teor de N na massa seca (TNMS) são constantes;

As equações utilizadas no presente trabalho se mostraram adequadas para realizar a recomendação de N para a cultura do milho, no entanto é necessário passar por uma validação de campo, por meio de acompanhamento de lavouras comerciais.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba pela disponibilização da área experimental, aonde foi instalado o experimento de campo e a Inácia dos Santos Moreira, pelo auxílio na execução do experimento de campo e nas análises laboratoriais.

LITERATURA CITADA

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. Climatologia. 2018. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/> > Acesso em: 12 de março de 2018.

Alvarez V., V. H. Avaliação da fertilidade do solo (Superfície de resposta - Modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Viçosa: UFV, 1985. 75p.

Alves, G. D.; Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H.; Silva, V. M. Potencial de mineralização de N e de C em vinte solos de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 2, 1999.

Amado, T. J. C.; Mielniczuk, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 24, p. 553-560, 2000.

Andrade, F. R.; Petter, F. A.; Nóbrega, J. C. A.; Pacheco, L. P.; Zuffo, A. M. Desempenho agrônômico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 57, n. 4, p. 358-366, 2014.

Camargo, F. A. O.; Gianello, C.; Vidor, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, n. 4, 1997.

Cruz, S. C. S.; Pereira, F. R. S.; Santos, J. R.; Albuquerque, A. W.; Pereira, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.

Doorenbos, J.; Kassam, A. H.; Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de Gheyi, H. R.; Sousa, A. A.; Damasceno, F. A. V.; Medeiros, J. F. Campina Grande: UFPB, 1994. p. 154-159. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

França, S.; Mielniczuk, J.; Rosa, L. M. G.; Bergamaschi, H.; Bergonci, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 11, p. 1143-151, 2011.

Gava, G. J. C.; Oliveira, M. W.; Silva, M. A.; Jerônimo, E. M.; Cruz, J. C. S.; Trivelin, P. C. O. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de ^{15}N -uréia. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4, p. 851-862, 2010.

Halvorson, A. D.; Nielsen, D. C.; Reule, C. A. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agronomy Journal*, v. 96, n. 4, p. 1196-1201, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola Municipal. 2019. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> > Acesso em: 16 de Janeiro de 2019.

Janssen, B. H.; Guiking, F. C. T.; van der Eijk, D.; Smaling, E. M. A.; Wolf, J.; van Reuler, H. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, v. 46, n. 4, p. 299-318, 1990.

Keeney, D. R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: Stevenson, F. J., ed. *Nitrogen in agricultural soils*. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.605-649.

Marques, T. C. L. L. S. M.; Vasconcellos, C. A.; Pereira Filho, I.; França, G. E.; Cruz, J. C. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 3, p. 581-589, 2000.

Morris, T. F.; Murrell, T. S.; Beegle, D. B.; Camberato, J. J.; Ferguson, R. B.; Grove, J.; Ketterings, Q.; Kyveryga, P. M.; Laboski, C. A. M.; McGrath, J. M.; Meisinger, J. J.; Melkonian, J.; Moebius-Clune, B. N.; Nafziger, E. D.; Osmond, D.; Sawyer, J. E.; Scharf, P. C.; Smith, W.; Spargo, J. T.; van Es, H. M.; Yang, H. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 1, p. 1-37, 2018.

Oliveira, S. M.; Almeida, R. E. M.; Ciampitti, I. A.; Pierozan Junior, C.; Lago, B. C.; Trivelin, P. C. O.; Favarin, J. L. Understanding N timing in corn yield and fertilizer N

recovery: An insight from na isotopic labeled-N determination. Plos One, v. 13, n. 2, p. 1-14, 2018.

Parentoni, S. N.; França, G. E.; Bahia Filho, A. F. C. Avaliação dos conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de nitrogênio para trinta solos do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 12, p. 225-229, 1988.

Rolim, G. S., Sentelhas, P. C.; Barbieri, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

Santos, L. P. D.; Aquino, L. A.; Nunes, P. H. M. P.; Xavier, F. O. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.12, n.3, p. 270-279, 2013.

Schimel, J. P.; Bennett, J. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. Ecology, v. 85, n. 3, p. 591- 602, 2004.

Silva, E. C.; Muraoka, T.; Buzetti, S; Trivelin, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006.

Silva, H. S.; Carvalho, M. A. B.; Souza, A. P.; Barbosa, E. S.; Pereira Neto, J. M.; Vieira, C. P. Distribuição espacial das raízes do milho submetido a adubação mineral em sistema de plantio direto. In.: Zuffo, A. M.; Aguilera, J. G. Solos nos biomas brasileiros 2. 1ed. Ponta Grossa: Atena, 2018, cap. 3, v. 2, p. 17-27.

Stanford, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. Journal of Environmental Quality, v. 2, n. 2, p. 159-166, 1973.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). 4. ed. Brasília: Embrapa, 2014. 393p.

Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

Thornthwaite, C. W.; Mather, R. J. The Water Balance. New Gersey: Laboratory of Climatology, v. 8, 1955, 104 p.

Von Pinho, R. G.; Borges, I. D.; Pereira, J. L. A. R.; Reis, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.8, n.2, p. 157-173, 2009.

Weber, M. A.; Mielniczuk, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 2, p. 429-437, 2009.

APÊNDICE

Quadro 1. Valores médios da densidade do solo de 0-10 (DS 0-10) e 10-20 cm (DS 10-20); teor de N do solo de 0-10 (TNS 0-10) e 10-20 cm (TNS 10-20) e estoque de N do solo de 0-10 (EN 0-10) e 10-20 cm (EN 10-20) de profundidade

Tratamentos	DS(0-10)	DS(10-20)	TNS(0-10)	TNS(10-20)	EN(0-10)	EN(10-20)
	----- kg dm ⁻³ -----		----- g kg ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----	
0	1,18	1,27	1,73	1,63	2021,61	2102,68
30	1,30	1,27	1,77	1,79	2306,45	2255,69
70	1,21	1,24	1,77	2,24	2140,37	2853,57
95	1,23	1,25	1,69	1,21	2073,78	2201,82

Quadro 2. Valores médios do teor de N da palha (NP); sabugo (NS); grão (NG); folha (NF); colmo (NC) e pendão (NPe) do milho

Tratamentos	NP	NS	NG	NF	NC	NPe
	----- g kg ⁻¹ -----					
0	5,46	9,1	16,20	11,97	5,02	11,54
30	3,89	8,92	13,89	10,08	2,43	10,12
70	3,75	6,48	13,61	12,77	3,64	10,52
95	3,64	5,82	14,31	11,24	3,35	10,37

Quadro 3. Valores médios da massa seca da palha (MP); sabugo (MS); grão (MG); folha (MF); colmo (MC) e pendão (MPe) do milho

Tratamentos	MP	MS	MG	MF	MC	MPe
	----- kg ha ⁻¹ -----					
0	633,33	516,67	1883,33	1234,67	766,67	79,40
30	706,67	583,33	3100,00	1316,67	1000,00	72,23
70	916,67	783,33	4383,33	1516,67	1150,00	85,67
95	1150,00	1016,67	5883,33	1850,00	1250,00	95,23

Quadro 4. Resumo da análise de variância para o estoque de N do solo de 0-10 (EN 0-10) e 10-20 cm (EN 10-20) de profundidade

FV	GL	Quadrado Médio	
		EN (0-10)	EN (10-20)
Trat	3	76712,405032 ^{ns}	575923,443213 ^{ns}
Bloco	4	66316,276745 ^{ns}	575204,471880 ^{ns}
Erro	12	30829,411165	389231,889880 ^{ns}
CV (%)		8,22	26,51

^{ns}, * e ** não significativo (p<0,05), significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F

Quadro 5. Resumo da análise de variância para o teor de N da palha (NP); sabugo (NS); grão (NG); folha (NF); colmo (NC); pendão (NPe) e massa seca total (TNMS) do milho

FV	GL	Quadrado Médio						
		NP	NS	NG	NF	NC	NPe	TNMS
Trat	3	1,755578 ^{ns}	1,762978 ^{ns}	2742,601773**	60,414653*	3,504227*	0,091600 ^{ns}	1,846885 ^{ns}
Bloco	4	2,520480 ^{ns}	3,395080 ^{ns}	50,462030 ^{ns}	21,037812 ^{ns}	1,042467 ^{ns}	0,313645*	1,277518 ^{ns}
Erro	12	1,383020	5,829720	226,323507	14,283433	0,490831	0,094442	0,743097
CV (%)		33,89	47,02	27,55	22,22	19,53	34,76	8,10

^{ns}, * e ** não significativo (p<0,05), significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F

Quadro 6. Resumo da análise de variância para a massa da palha (MP); sabugo (MS); grão (MG) e folha (MF) do milho

FV	GL	Quadrado Médio			
		MP	MS	MG	MF
Trat	3	269870,062965**	253238,981485**	14739236,750005**	375182,515560*
Bloco	4	269870,062965*	25520,750005 ^{ns}	111111,909730 ^{ns}	44133,370837 ^{ns}
Erro	12	13099,507415	24363,379635	834721,993063	76097,784548
CV (%)		13,44	21,53	23,96	18,65

^{ns}, * e ** não significativo (p<0,05), significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F

Quadro 7. Resumo da análise de variância para a massa do colmo (MC); pendão (MPe); parte aérea (MPA) e total (MST) do milho

FV	GL	Quadrado Médio			
		MC	MPe	MPA	MST
Trat	3	220833,222227**	475,956298 ^{ns}	4372096,219998**	35082329,811853**
Bloco	4	45139,652793 ^{ns}	2801,779645*	276914,468528 ^{ns}	377881,371383 ^{ns}
Erro	12	27546,162039	537,313665	376445,467534	2208148,535866
CV (%)		16,93	27,88	14,67	18,59

^{ns}, * e ** não significativo (p<0,05), significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F

Quadro 8. Resumo da análise de variância para extração de N pela palha (EP); sabugo (ES); grão (EG) e folha (EF) do milho

FV	GL	Quadrado Médio			
		EP	ES	EG	EF
Trat	3	1,755578 ^{ns}	1,762978 ^{ns}	2742,601773**	60,414653*
Bloco	4	2,520480 ^{ns}	3,395080 ^{ns}	50,462030 ^{ns}	21,037812 ^{ns}
Erro	12	1,383020	5,829720	226,323507	14,283433
CV (%)		33,89	47,02	27,55	22,22

^{ns}, * e ** não significativo (p<0,05), significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F

Quadro 9. Resumo da análise de variância para a extração de N pelo colmo (EC); pendão (EPe); parte aérea (EPA) e total (ET) do milho

FV	GL	Quadrado Médio			
		EC	EPe	EPA	ET
Trat	3	3,504227**	0,091600 ^{ns}	142,986378**	3974,275658**
Bloco	4	1,042467 ^{ns}	0,313645*	51,047508 ^{ns}	108,256370 ^{ns}
Erro	12	0,490831	0,094442	18,026224	250,818300
CV (%)		19,53	34,76	14,11	18,70

^{ns}, * e ** não significativo (p<0,05), significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F

Quadro 10. Resumo da análise de variância para o índice de colheita (IC) e eficiência de adubação (EA) no milho

FV	GL	Quadrado Médio	
		IC	EA
Trat	3	0,024327**	4031,576858*
Bloco	4	0,0011005 ^{ns}	279,861095 ^{ns}
Erro	12	0,001885	687,677542
CV (%)		9,50	69,03

^{ns}, * e ** não significativo (p<0,05), significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F